

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-085308

(43)Date of publication of application : 30.03.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/027  
G03F 7/20

(21)Application number : 11-258125

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 10.09.1999

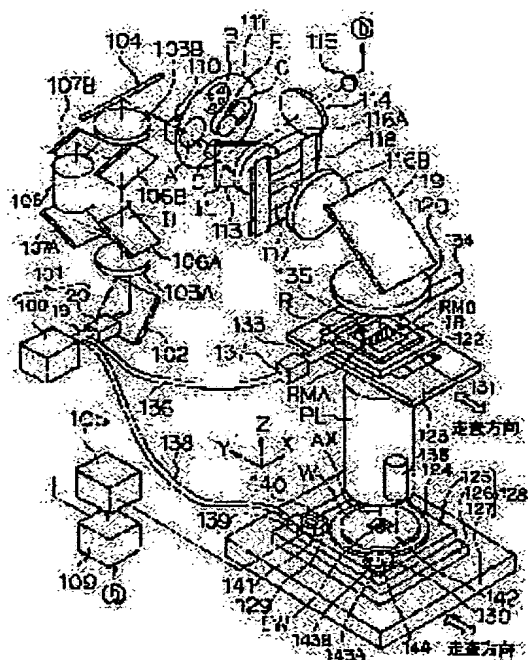
(72)Inventor : KUDO YUJI

## (54) ILLUMINATION OPTICAL SYSTEM AND ALIGNER

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain an illumination optical system which can improve the rotation symmetricity of an illuminating light, is small in size and facilitates maintenance.

**SOLUTION:** A light branched from a laser beam, whose wavelength is within a range from a visible range to an infrared range and which is emitted from a DFB (distributed feedback) laser, etc., is amplified by a plurality of optical amplification units with optical fiber amplifiers in a fundamental wave generating unit 100 and is supplied to a wavelength conversion unit 20 via an optical fiber bundle 19. An illuminating light IL which is obtained by converting the supplied light into an ultraviolet light is divided into two by a polarization beam splitter 106A. The two divided beams are turned so as to have a rotational difference of 90° between each other and combined with each other. The combined light is supplied to a fly-eye lens 110, and a reticle R is illuminated by the exposing light from the fly-eye lens 110.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2001-85308  
(P2001-85308A)

(43)公開日 平成13年3月30日(2001.3.30)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーム(参考)
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 2 7 2 H 0 9 7
G 0 3 F 7/20	5 0 2	G 0 3 F 7/20	5 0 2 5 F 0 4 6
		H 0 1 L 21/30	5 1 5 B
			5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 13 頁)

(21)出願番号 特願平11-258125

(22)出願日 平成11年9月10日(1999.9.10)

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 工藤 祐司

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
式会社ニコン内

(74)代理人 100098165

弁理士 大森 聡

Fターム(参考) 2H097 CA12 CA17

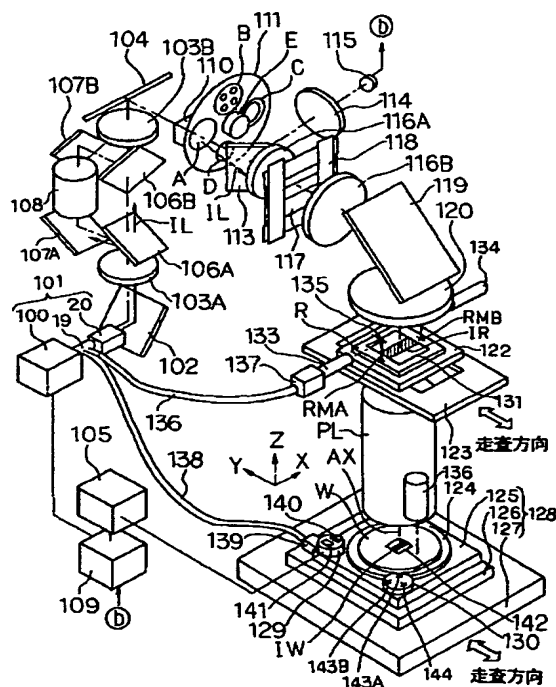
5F046 CA03 CB04 CB13 CB15

(54)【発明の名称】 照明光学装置及び露光装置

(57)【要約】

【課題】 照明光の回転対称性を高めることができると共に、小型化でメンテナンスが容易である照明光学装置を提供する。

【解決手段】 基本波発生部100において、例えばDFB(Distributed feedback)レーザ等からの可視域から赤外域のレーザ光を分岐して、光ファイバー増幅器を有する複数の光増幅ユニットを用いて増幅して得られた光を、光ファイバー・バンドル19を介して波長変換部20に供給する。波長変換部20で紫外光に変換された露光光ILを偏光ビームスプリッタ106Aで2分割し、分割された2光束に90°の回転差を与えて合成した光をフライアイレンズ110に供給し、フライアイレンズ110からの露光光でレチクルRを照明する。



**【特許請求の範囲】**

【請求項1】 照明光を発生する光源装置と、該光源装置からの照明光より複数の2次光源を形成するためのオプティカル・インテグレータと、前記複数の2次光源からの光束を集光して被照射面に導く集光光学系とを備えた照明光学装置において、

前記光源装置から供給される照明光の光軸に垂直な面内での照度分布は非回転対称であり、

前記光源装置と、前記オプティカル・インテグレータとの間に、前記照明光の非回転対称性を補正するための光束整形部を設けたことを特徴とする照明光学装置。

【請求項2】 前記光束整形部は、前記光源装置からの照明光を第1光束から第N光束（Nは2以上の整数）に分岐する分岐光学系と、前記第N光束を光軸を中心として所定角度回転させる回転光学系と、前記第1光束と前記回転光学系から射出される前記第N光束とを合成する合成光学系とを有することを特徴とする請求項1記載の照明光学装置。

【請求項3】 前記回転光学系は、前記第N光束を $180^\circ/N$ だけ（Nは2以上の整数）回転することを特徴とする請求項2記載の照明光学装置。

【請求項4】 前記光源装置は、赤外域から可視域までの波長範囲内で単一波長のレーザー光を発生するレーザー光発生部と、該レーザー光発生部から発生されたレーザー光を増幅する光ファイバー増幅器を有する光増幅部と、該光増幅部によって増幅されたレーザー光を非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換する波長変換部とを備え、前記紫外光を出力することを特徴とする請求項1、2、又は3に記載の照明光学装置。

【請求項5】 請求項1～4の何れか一項に記載の照明光学装置と、該照明光学装置によって照明されるマスクのパターンの像を基板上に投影する投影光学系とを有し、前記照明光学装置からの照明光のもとで前記マスクのパターンを前記基板上に転写することを特徴とする露光装置。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば紫外域の照明光を発生する照明光学装置に関し、特に半導体素子、撮像素子（CCDなど）、液晶表示素子、プラズマディスプレイ素子、及び薄膜磁気ヘッドなどのマイクロデバイスを製造するためのフォトリソグラフィ工程で使用される露光装置の照明光学系に使用して好適なものである。

**【0002】**

【従来の技術】例えば半導体集積回路を製造するためのフォトリソグラフィ工程で使用される露光装置は、マスクとしてのレチクル（フォトマスク）上に精密に描かれた回路パターンを、基板としてのフォトレジストを塗布

したウエハ上に光学的に縮小して投影露光する。この露光時におけるウエハ上での最小パターン寸法（解像度）を小さくするのに最も単純かつ有効な方法の一つは、照明光学系中の露光光源からの露光用の照明光（露光光）の波長（露光波長）を小さくすることである。ここで露光光の短波長化の実現と合わせて、露光光源を構成する上で備えるべきいくつかの条件につき説明する。

【0003】第1に、例えば数ワットの光出力が求められる。これは集積回路パターンの露光、転写に要する時間を短くして、スループットを高めるために必要である。第2に、露光光が波長300nm以下の紫外光の場合には、投影光学系の屈折部材（レンズ）として使用できる光学材料が限られ、色収差の補正が難しくなってくる。このため露光光の単色性が必要であり、露光光のスペクトル線幅は1pm程度以下にすることが求められる。

【0004】第3に、このスペクトル線幅の狭帯化に伴い時間的コヒーレンス（可干渉性）が高くなるため、狭い線幅の光をそのまま照射すると、スペックルと呼ばれる不要な干渉パターンが生ずる。従ってこのスペックルの発生を抑制するために、露光光源では空間的コヒーレンスを低下させる必要がある。これらの条件を満たす従来の短波長の光源の一つは、レーザーの発振波長自身が短波長であるエキシマレーザーを用いた光源であり、もう一つは赤外又は可視域のレーザーの高調波発生を利用した光源である。

【0005】このうち、前者の短波長光源としては、KrFエキシマレーザー（波長248nm）が使用されており、現在では更に短波長のArFエキシマレーザー（波長193nm）を使用する露光装置の開発が進められている。更に、エキシマレーザーの仲間であるF<sub>2</sub>レーザー（波長157nm）の使用も提案されている。しかし、これらのエキシマレーザーは大型であること、発振周波数が現状では数kHz程度であるため、単位時間当たりの照射エネルギーを高めるためには1パルス当たりのエネルギーを大きくする必要があり、このためにいわゆるコンパクション等によって光学部品の透過率変動等が生じやすいこと、メンテナンスが煩雑でかつ費用が高額となることなどの種々の問題があった。

【0006】また後者の方法としては、非線形光学結晶の2次の非線形光学効果を利用して、長波長の光（赤外光、可視光）をより短波長の紫外光に変換する方法がある。例えば文献「"Longitudinally diode pumped continuous wave 3.5W green laser", L. Y. Liu, M. Oka, W. Wiechmann and S. Kubota; Optics Letters, vol. 19, p189 (1994)」では、半導体レーザーで励起された固体レーザーからの光を波長変換するレーザー光源が開示されている。この従来例では、Nd:YAGレーザーの発する1064nmのレーザー光を、非線形光学結晶を用いて波長変換し、4倍高調波の266nmの光を発生させる方法

が記載されている。なお、固体レーザとは、レーザ媒質が固体であるレーザの総称である。

【0007】また、例えば特開平8-334803号公報では、半導体レーザを備えたレーザ光発生部と、このレーザ光発生部からの光を非線形光学結晶により紫外光に波長変換する波長変換部とから構成されるレーザ要素を複数個、マトリックス状（例えば $10 \times 10$ ）に束ねたアレイレーザが提案されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】このような構成の従来のアレイレーザでは、個々のレーザ要素の光出力を低く抑えつつ、装置全体の光出力を高出力とすることができ、各非線形光学結晶への負担を軽減することができる。しかし、一方では、個々のレーザ要素が独立していることから、露光装置への適用を考慮した場合には、レーザ要素全体でその発振スペクトルを全幅で $1 \mu\text{m}$ 程度以下まで一致させる必要がある。

【0009】このため、例えば、各レーザ要素に自律的に同一波長の単一縦モード発振をさせるためには、各々のレーザ要素の共振器長を調整し、あるいは共振器中に波長選択素子を挿入したりする必要がある。しかし、これらの方法は、その調整が微妙であること、構成するレーザ要素が多くなればなるほど全体を同一波長で発振させるのに複雑な構成が必要になること等の問題があった。

【0010】一方、これら複数のレーザを能動的に単一波長化する方法としてインジェクションシード法がよく知られている（例えば、「Walter Koechner: Solid-state Laser Engineering, 3rd Edition, Springer Series in Optical Science, Vol.1, Springer-Verlag, ISBN 0-387-53756-2, p246-249」参照）。これは、発振スペクトル線幅の狭い単一のレーザ光源からの光を複数のレーザ要素に分岐し、このレーザ光を誘導波として用いることにより、各レーザ要素の発振波長を同調させ、かつスペクトル線幅を狭帯域化するという方法である。しかし、この方法では、シード光を各レーザ要素に分岐する光学系や、発振波長の同調制御部を必要とするため構造が複雑になるという問題があった。

【0011】更に、このようなアレイレーザは、従来のエキシマレーザに比べて装置全体を格段に小さくすることが可能だが、それでもアレイ全体の出力ビーム径を数 $\text{cm}$ 以下におさえるパッケージングは困難であった。また、このように構成されたアレイレーザでは、各アレイごとに波長変換部が必要となるため高価となること、アレイを構成するレーザ要素の一部にアライメントずれが生じた場合や構成する光学素子に損傷が発生した場合に、このレーザ要素の調整をするためには、一度アレイ全体を分解してこのレーザ要素を取り出し、調整した上で再度アレイを組み立て直す必要があること、などの課題があった。

【0012】また、そのような光源を露光装置の照明光学系に用いた場合には、最終的に転写される回路パターンの方向による線幅の差を無くすために、露光光の回転対称性を高めることが望ましい。本発明は斯かる点に鑑み、照明光の回転対称性を高めることができる照明光学装置を提供することを第1の目的とする。

【0013】更に本発明は、露光装置の照明光学系に使用した場合に、装置を小型化でき、かつメンテナンスが容易にできるようにすることを第2の目的とする。更に本発明は、発振周波数を高くして、かつ空間的コヒーレンスを低減できると共に、全体としての発振スペクトル線幅を簡単な構成で狭くできるようにすることを第3の目的とする。

【0014】更に本発明は、そのような照明光学装置を備えたコンパクトで自由度の高い露光装置を提供することをも目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明による照明光学装置は、照明光を発生する光源装置（101）と、この光源装置からの照明光より複数の2次光源を形成するためのオプティカル・インテグレータ（110）（ホモジナイザー）と、その複数の2次光源からの光束を集光して被照射面に導く集光光学系（116A, 116B, 120）とを備えた照明光学装置において、その光源装置から供給される照明光の光軸に垂直な面内での照度分布は非回転対称であり、その光源装置と、そのオプティカル・インテグレータとの間に、その照明光の非回転対称性を補正するための光束整形部（106A, 106B, 107A, 107B, 108）を設けたものである。

【0016】斯かる本発明によれば、その光束整形部によってその照明光の回転対称性が向上する。従って、その照明光学装置を露光装置に使用することによって、転写される回路パターンの方向による線幅差が小さくなり、転写忠実度が向上する。この場合、その光束整形部は、一例としてその光源装置からの照明光を第1光束及び第2光束に分岐する分岐光学系（106A）と、その第2光束を光軸を中心として所定角度回転する回転光学系（108）と、その第1光束とその回転光学系から射出されるその第2光束とを合成する合成光学系（106B）とを有するものである。このとき、その第1光束の断面内の照度分布が例えば所定方向に細長い長円形であれば、その第2光束を例えば $180^\circ/N$ だけ（ $N$ は2以上の整数）回転して、その第1光束とその第2光束とを合成することによって、簡単な構成でそのオプティカル・インテグレータに供給される照明光の断面内の照度分布を交差する2方向に対称にできる。

【0017】この場合、その光源装置は、一例として赤外域から可視域までの波長範囲内で単一波長のレーザ光を発生するレーザ光発生部（11）と、このレーザ光発生部から発生されたレーザ光を増幅する光ファイバー増

幅器を有する光増幅部(18-1)と、この光増幅部によって増幅されたレーザ光を非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換する波長変換部(20)とを備え、その紫外光を出力するものである。

【0018】斯かる光源装置によれば、そのレーザ光発生部としては、例えば発振波長が制御されたDFB(Distributed feedback)半導体レーザ、又はファイバーレーザ等の小型で発振スペクトルの狭い光源を使用することができる。そして、そのレーザ光発生部からの単一波長のレーザ光を光ファイバー増幅器で増幅した後、非線形光学結晶で紫外光に変換することによって、高出力で単一波長の狭いスペクトル幅の紫外光を得ることができる。従って、小型でかつメンテナンスの容易な照明光学装置を提供できる。

【0019】この場合、光ファイバー増幅器としては、例えばエルビウム(Er)・ドープ・光ファイバー増幅器(Erbium-Doped Fiber Amplifier: EDFA)、イッテルビウム(Yb)・ドープ・光ファイバー増幅器(YDFA)、プラセオジウム(Pr)・ドープ・光ファイバー増幅器(PDFA)、又はトリウム(Tm)・ドープ・光ファイバー増幅器(TDFA)等を使用することができる。また、本発明の波長変換部20の構成については、複数の非線形光学結晶の2次高調波発生(SHG)及び/又は和周波発生(SFG)の組み合わせによって、基本波に対して任意の整数倍の周波数(波長は整数分の1)の高調波よりなる紫外光を容易に出力することができる。

【0020】また、その光源装置は、そのレーザ光発生部から発生するレーザ光を複数に分岐する光分岐手段(14、16-1~16-m)を更に備え、その光増幅部はその複数の分岐されたレーザ光のそれぞれに独立に設けられると共に、その波長変換部は、その複数の光増幅部から出力されたレーザ光の束をまとめて波長変換することが望ましい。この際に例えばその光分岐手段から射出される複数の光束間に所定の光路差を付与しておくことによって、その光分岐手段から射出される複数のレーザ光を束ねた光束の空間コヒーレンスは大幅に低下すると共に、共通のレーザ光発生部からのレーザ光を使用しているために、スペクトル幅は狭く維持されている。

【0021】ところが、その波長変換部で非線形光学結晶を使用する場合には、基本波と高調波との角度のずれである「Walk-off」によって、射出される高調波の断面形状が長円形に変形する場合がある。また、その光分岐手段を用いる場合には、その波長変換部に入射するレーザ光は複数の光束の束であり、「Walk-off」によってその個々の光束毎に断面形状が長円形に変形する。そのために、個々の光束の断面形状をまとめて円形に補正すると、入射するレーザ光の全体としての外形は長円形に変形して、最終的に射出される照明光の断面形状が非回転対称になり易くなる。このような場合に本発明を適用す

ることによって、その照明光の回転対称性を向上できる。

【0022】そして、本発明の露光装置は、上記の本発明の照明光学装置と、この照明光学装置によって照明されるマスク(R)のパターンの像を基板(W)上に投影する投影光学系(PL)とを有し、前記照明光学装置からの照明光のもとで前記マスクのパターンを前記基板上に転写するものである。本発明の照明光学装置の使用によって、最終的にその基板上に形成される回路パターンの方向による線幅の差が小さくなっている。また、本発明の照明光学装置の使用によって、露光装置全体を小型化でき、かつメンテナンスが容易になる。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態の一例につき図面を参照して説明する。本例は、投影露光装置の照明光学系に本発明の照明光学装置を適用したものである。図1(a)は、本例の照明光学系用の光源装置を示し、この図1(a)において、レーザ光発生部としての単一波長発振レーザ11からスペクトル幅の狭い単一波長の例えば連続波(CW)よりなる波長1.544 $\mu$ mのレーザ光LB1が発生する。このレーザ光LB1は、逆向きの光を阻止するためのアイソレータIS1を介して光変調部としての光変調素子12に入射し、ここでパルス光のレーザ光LB2に変換されて光分岐増幅部4に入射する。

【0024】光分岐増幅部4に入射したレーザ光LB2は、先ず前段の光増幅部としての光ファイバー増幅器13を通過して増幅された後、アイソレータIS2を介して第1の光分岐素子としての平面導波路型のスプリッタ14に入射して、m本のほぼ同一強度のレーザ光に分岐される。mは2以上の整数であり、本例ではm=4である。光ファイバー増幅器13としては、単一波長発振レーザ11から発生されるレーザ光LB1と同じ波長域(本例では1.544 $\mu$ m付近)の光を増幅するために、エルビウム・ドープ・光ファイバー増幅器(Erbium-Doped Fiber Amplifier: EDFA)が使用されている。なお、光ファイバー増幅器13には不図示のカップリング用の波長分割多重素子を介して不図示の励起用の半導体レーザからの波長980nm又は1480nmの励起光が供給されている。

【0025】スプリッタ14から射出されたm本のレーザ光は、互いに異なる長さの光ファイバー15-1、15-2、…、15-mを介してそれぞれ第2の光分岐素子としての平面導波路型のスプリッタ16-1、16-2、…、16-mに入射して、それぞれほぼ同一強度のn本のレーザ光に分岐される。nは2以上の整数であり、本例ではn=32である。第1の光分岐素子(14)及び第2の光分岐素子(16-1~16-m)が本発明の光分岐手段(光分割手段)に対応する。その結果、単一波長発振レーザ11から射出されるレーザ光LB1は、全体としてn・m本(本例では128本)のレ

ーザ光に分岐される。

【0026】そして、スプリッタ16-1から射出された $n$ 本のレーザ光LB3は、互いに異なる長さの光ファイバー17-1, 17-2, ..., 17- $n$ を介してそれぞれ後段の光増幅部としての光増幅ユニット18-1, 18-2, ..., 18- $n$ に入射して増幅される。光増幅ユニット18-1~18- $n$ は、単一波長発振レーザ11から発生されるレーザ光LB1と同じ波長域（本例では1.544 $\mu$ m付近）の光を増幅する。同様に他のスプリッタ16-2~16- $m$ から射出された $n$ 本のレーザ光も、それぞれ互いに異なる長さの光ファイバー17-1~17- $n$ を介して後段の光増幅部としての光増幅ユニット18-1~18- $n$ に入射して増幅される。

【0027】 $m$ 組の光増幅ユニット18-1~18- $n$ で増幅されたレーザ光は、それぞれ光増幅ユニット18-1~18- $n$ 内の所定の物質がドーブされた光ファイバー（後述）の射出端の延長部を伝播し、これらの延長部が光ファイバー・バンドル19を構成する。光ファイバー・バンドル19を構成する $m$ 組の $n$ 本の光ファイバーの延長部の長さは互いにほぼ同一である。但し、光ファイバー・バンドル19を $m \cdot n$ 本の互いに同じ長さの無ドーブの光ファイバーを束ねて形成すると共に、光増幅ユニット18-1~18- $n$ で増幅されたレーザ光をそれぞれ対応する無ドーブの光ファイバーに導いてもよい。光ファイバー増幅器13から光ファイバー・バンドル19までの部材より光分岐増幅部4が構成されている。

【0028】光ファイバー・バンドル19から射出されたレーザ光LB4は、非線形光学結晶を有する波長変換部20に入射して紫外光よりなるレーザ光LB5に変換され、このレーザ光LB5が露光光として外部に射出される。 $m$ 組の光増幅ユニット18-1~18- $n$ がそれぞれ本発明の光増幅部に対応しているが、この光増幅部に光ファイバー・バンドル19の光ファイバーを含める場合もある。

【0029】また、光ファイバー・バンドル19の出力端19aは、図1(b)に示すように、 $m \cdot n$ 本（本例では128本）の光ファイバーを密着するように、かつ外形が円形になるように束ねたものである。実際には、その出力端19aの形状及び束ねる光ファイバーの数は、後段の波長変換部20の構成、及び本例の光源装置の使用条件等に応じて定められる。光ファイバー・バンドル19を構成する各光ファイバーのクラッド直径は125 $\mu$ m程度であることから、128本を円形に束ねた場合の光ファイバー・バンドル19の出力端19aの直径 $d1$ は、約2mm以下とすることができる。

【0030】また、本例の波長変換部20では、入射するレーザ光LB4を8倍高調波（波長は1/8）、又は10倍高調波（波長は1/10）よりなるレーザ光LB5に変換する。単一波長発振レーザ11から射出される

レーザ光LB1の波長は1.544 $\mu$ mであるため、8倍高調波の波長はArFエキシマレーザと同じ193nmとなり、10倍高調波の波長はF<sub>2</sub>レーザ（フッ素レーザ）の波長（157nm）とほぼ同じ154nmとなる。なお、レーザ光LB5の波長をよりF<sub>2</sub>レーザ光の波長に近付けたい場合には、波長変換部20で10倍高調波を生成すると共に、単一波長発振レーザ11では波長1.57 $\mu$ mのレーザ光を発生すればよい。

【0031】実用的には、単一波長発振レーザ11の発振波長を1.544~1.552 $\mu$ m程度に規定して、8倍波に変換することにより、ArFエキシマレーザと実質的に同一波長（193~194nm）の紫外光が得られる。そして、単一波長発振レーザ11の発振波長を1.57~1.58 $\mu$ m程度に規定して、10倍波に変換することによってF<sub>2</sub>レーザと実質的に同一波長（157~158nm）の紫外光が得られる。従って、これらの光源装置をそれぞれArFエキシマレーザ光源、及びF<sub>2</sub>レーザ光源に代わる安価でメンテナンスの容易な光源として使用することができる。

【0032】なお、最終的にArFエキシマレーザ、又はF<sub>2</sub>レーザ等に近い波長域の紫外光を得る代わりに、例えば製造対象の半導体デバイス等のパターンルールより最適な露光波長（例えば160nm等）を決定し、この理論的に最適な波長の紫外光を得るように単一波長発振レーザ11の発振波長や波長変換部20における高調波の倍率を決定するようにしてもよい。

【0033】単一波長で発振する単一波長発振レーザ11としては、例えば発振波長1.544 $\mu$ m、連続波出力（以下、「CW出力」ともいう）で出力が20mWのInGaAsP構造のDFB（Distributed feedback：分布帰還型）半導体レーザを用いる。ここでDFB半導体レーザとは、縦モード選択性の低いファブリーペロー型共振器の代わりに、回折格子を半導体レーザ内に形成したもので、どのような状況下であっても単一縦モード発振を行うように構成されている。DFB半導体レーザは、基本的に単一縦モード発振をすることから、その発振スペクトル線幅は0.01pm以下に抑えられる。なお、単一波長発振レーザ11としては、同様の波長領域で狭帯域化されたレーザ光を発生する光源、例えばエルビウム（Er）・ドーブ・ファイバー・レーザ等をも使用することができる。

【0034】更に、本例の光源装置の出力波長は用途に応じて特定波長に固定することが望ましい。そのため、マスター発振器（Master Oscillator）としての単一波長発振レーザ11の発振波長を一定波長に制御するための発振波長制御装置を設けている。通常、DFB半導体レーザなどはヒートシンクの上に設けられ、これらが筐体内に収納されている。そこで本例では、単一波長発振レーザ11（DFB半導体レーザなど）に付設されるヒートシンクに温度調整部5（例えばヒータ等の加熱素子、

ペルチェ素子等の吸熱素子、及びサーミスタ等の温度検出素子よりなる)を固定し、その温度調整部5の動作をコンピュータよりなる制御部1が制御することで、そのヒートシンク、ひいては単一波長発振レーザ11の温度を高精度に制御する。

【0035】そして、この発振波長を所定の波長に制御する際のフィードバック制御のモニター波長としては、DFB半導体レーザの発振波長、あるいは後述する波長変換部20内での波長変換後の高調波出力(2倍波、3倍波、4倍波等)の内から所望の波長制御を行うに当たって必要な感度を与え、かつ最もモニターしやすい波長を選択すればよい。

【0036】更に、半導体レーザなどではその電流制御を行うことで、出力光をパルス発振させることができる。このため、本例では単一波長発振レーザ11(DFB半導体レーザなど)の電力制御と光変調素子12とを併用してパルス光を発生させることが好ましい。このようにして得たパルス光出力を、初段のエルビウム・ドープの光ファイバー増幅器13に接続し、35dB(3162倍)の光増幅を行う。このときパルス光は、ピーク出力約63W、平均出力約6.3mWとなる。なお、この光ファイバー増幅器13の代わりに複数段の光ファイバー増幅器を使用してもよい。

【0037】その初段の光ファイバー増幅器13の出力を、スプリッタ14でまずチャンネル0~3の4個の出力(本例では $m=4$ )に並列分割する。このチャンネル0~3の各出力を、各々長さの異なる光ファイバー15-1~15-4に接続することにより、各光ファイバーからの出力光には、光ファイバー長に対応した遅延時間が与えられる。例えば本実施形態では、光ファイバー中の光の伝搬速度を $2 \times 10^8$  m/sであるとし、チャンネル0、1、2、3にそれぞれ0.1m、19.3m、38.5m、57.7mの長さの光ファイバー15-1~15-4を接続する。この場合、各光ファイバーの出口での隣り合うチャンネル間の光の遅延は96nsとなる。

【0038】図2は、光増幅ユニット18を示し、この図2において、光増幅ユニット18は基本的に2段のそれぞれエルビウム・ドープ・光ファイバー増幅器(Erbium-Doped Fiber Amplifier: EDFA)よりなる光ファイバー増幅器22及び25を接続して構成されている。そして、1段目の光ファイバー増幅器22の両端部には、励起光をカップリングするための波長分割多重(Wavelength Division Multiplexing: WDM)素子(以下、「WDM素子」と言う)21A及び21Bが接続され、WDM素子21A及び21Bによってそれぞれ励起光源としての半導体レーザ23Aからの励起光EL1及び半導体レーザ23Bからの励起光が、光ファイバー増幅器22に前後から供給されている。同様に、2段目の光ファイバー増幅器25の両端部にも、カップリング用のWDM素子21C及び21Dが接続され、WDM素子

21C及び21Dによってそれぞれ半導体レーザ23C及び23Dからの励起光が光ファイバー増幅器25に前後から供給されている。即ち、光ファイバー増幅器22、25は共に双方向励起型である。

【0039】ところで、前述のように二重構造のクラッドを持つ光ファイバー増幅器の出力波長として1.51~1.59 $\mu$ mを使用する場合には、ドープするイオンとしてエルビウム(Er)に加え ytterbium (Yb)を共にドープすることが好ましい。次に、図1の実施の形態の紫外光発生装置における波長変換部20の構成例につき説明する。

【0040】次に、図3は2次高調波発生と和周波発生とを組み合わせることで8倍波を得ることができる波長変換部20を示し、この図3において、光ファイバー・バンドル19の出力端19aから射出された波長1.544 $\mu$ mのレーザ光LB4(基本波)は、1段目のLiB<sub>3</sub>O<sub>5</sub>(LBO)結晶よりなる非線形光学結晶601に入射し、ここでの2次高調波発生により2倍波(波長772nm)が発生すると共に、この中を基本波の一部がそのまま透過する。この場合、不図示の集光レンズによって出力端19aの像(多数の細い光束の像)が非線形光学結晶601の中央部付近に形成されており、その多数の細い光束の像が順次後続の非線形光学結晶中にリレーされている。その基本波及び2倍波は、共に直線偏光状態で波長板(例えば1/2波長板)602を透過して、基本波のみが偏光方向が90度回転した状態で射出される。この基本波と2倍波とはそれぞれ集光レンズ603を通過して2段目のLBO結晶よりなる非線形光学結晶604に入射する。

【0041】非線形光学結晶604では、入射する2倍波と基本波とから和周波発生により3倍波(波長515nm)を得ると共に、基本波の一部及び2倍波の一部はそのまま透過する。非線形光学結晶604で得られた3倍波と、波長変換されずに透過した基本波及び2倍波とは、ダイクロイック・ミラー605により分離されて、ダイクロイック・ミラー605で反射された3倍波は、2枚のシリンダリカルレンズよりなる非等方的な集光レンズ610及びミラー611を経て出力端19aの像(多数の光束の像)を形成する。この像の形成面の近傍に各光束の像を直交する2方向で異なる倍率に変換するためのシリンダリカルレンズ・アレイ612が配置されている。シリンダリカルレンズ・アレイ612を通過した3倍波は、等方的な集光レンズ613を経てダイクロイック・ミラー614に入射する。

【0042】一方、ダイクロイック・ミラー605を透過した基本波及び2倍波は集光レンズ606を経て第3のLBO結晶よりなる非線形光学結晶607に入射し、ここで2倍波は2次高調波発生によって4倍波(波長386nm)に変換され、4倍波及びそのまま透過した基本波はダイクロイック・ミラー608で分離される。即



ち、ダイクロイック・ミラー608で反射された4倍波は、2枚のシリンドリカルレンズよりなる非等方的な集光レンズ609を経てダイクロイック・ミラー614に入射し、ダイクロイック・ミラー614で同軸に合成された3倍波及び4倍波は4段目の $\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (BBO) 結晶よりなる非線形光学結晶615に入射して、和周波発生により7倍波(波長221nm)を得る。この7倍波は集光レンズ616を経てダイクロイック・ミラー617に入射する。

【0043】また、ダイクロイック・ミラー608を透過した基本波は、2枚のシリンドリカルレンズよりなる非等方的な集光レンズ618を経て出力端19aの像

(多数の光束の像)を形成する。この像の形成面の近傍に各光束の像を直交する2方向で異なる倍率に変換するためのシリンドリカルレンズ・アレイ619が配置されている。シリンドリカルレンズ・アレイ619を通過した基本波は、ミラー620及び等方的な集光レンズ621を経てダイクロイック・ミラー617に入射する。そして、ダイクロイック・ミラー617で同軸に合成された7倍波及び基本波は、例えばSr<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (SBBO) 結晶よりなる第5の非線形光学結晶622に入射して、ここでの和周波発生によって8倍波(波長193nm)が得られ、この8倍波が紫外光のレーザー光LB5として射出される。この波長変換部20では、基本波(波長1.544 $\mu$ m)→2倍波(波長772nm)→3倍波(波長515nm)→4倍波(波長386nm)→7倍波(波長221nm)→8倍波(波長193nm)の順に波長変換が行われている。

【0044】本例においては、非線形光学結晶607での2倍高調波発生で発生する4倍波、及び非線形光学結晶615での和周波発生で発生する7倍波は、それぞれ入射波と高調波との角度のずれである「Walk-off」現象によって断面形状が長円形(非等方的)に変形する。但し、本例で入射するレーザー光LB4は、多数(本例では128個)の細くそれぞれ所定の開口を有する光束の集合であり、4倍波及び7倍波を構成する多数の光束の断面形状がそれぞれ個別に非等方的に変形する。従って、図3において、非線形光学結晶607から発生する4倍波660、及び非線形光学結晶604から発生した3倍波650の断面形状は、図4に示すように、4倍波660は断面形状が長円形の光束660aの集合であり、3倍波650は断面形状が円形の光束650aの集合である。このため、非線形光学結晶615において単に3倍波650と4倍波660とを重ね合わせて合成波670とすると、この合成波670を構成する各光束670aは重なり部の割合が小さくなって変換効率が低下する。

【0045】そこで、本例ではその合成波の重なり部の割合を大きくするために、図3において先ず非等方的な集光レンズ609によって4倍波660を、図5に示すように長手方向に短縮して、個々の光束661aの断面

形状がほぼ円形の4倍波661に変換する。なお、4倍波660は非線形光学結晶607中で結像された状態を示し、4倍波661は非線形光学結晶615中で結像された状態を示している。これと並行して、図4において非等方的な集光レンズ610によって3倍波650を、4倍波660と同じ方向に短縮して全体の断面形状を合わせる。この結果、得られる3倍波651は、図6に示すように、全体の断面形状は4倍波661と同じであるが、個々の光束651aの形状は長円形となっており、光束661aとの重なり部の割合がまだ小さい。なお、3倍波650は非線形光学結晶604中で結像された状態を示し、3倍波651は非等方的な集光レンズ610によって結像された状態を示している。

【0046】その重なり部の割合を大きくするために、図3において、3倍波651の結像面の近傍でシリンドリカルレンズ・アレイ612によって個々の光束の断面形状をほぼ円形に変換している。この結果得られる3倍波652は、図5に示すように、全体の断面形状が4倍波661に合致すると共に、個々の光束652aの断面形状も4倍波661の光束661aに合致する。また、集光レンズ613は等方的であるため、3倍波652は入射時と同じ縦横比で非線形光学結晶615にリレーされる。この結果、非線形光学結晶615では最大の変換効率で7倍波が発生する。

【0047】更に、非線形光学結晶615から発生する7倍波を構成する多数の光束の断面形状も長円形となる。そこで、最終段の非線形光学結晶622において、7倍波と基本波との全体の断面形状、及び個々の光束の断面形状を合わせるために、非線形光学結晶607を透過する基本波を一度非等方的な集光レンズ618で結像した後、各光束の像をシリンドリカルレンズ・アレイ619によって変形させている。これによって、非線形光学結晶622からは8倍波が最大の変換効率で発生する。この結果、最終的に射出される紫外光としてのレーザー光LB5は断面形状が非回転対称であるほぼ長円形となっている。この際に、単にシリンドリカルレンズ等によってそのレーザー光LB5を幅の短い方向に拡大して、断面形状を円形にする方法も考えられるが、このようにすると、そのレーザー光LB5を構成する128個の光束の断面形状が更に細長い長円形になってしまい、光源としてはあまり好ましくない。そのために、本例の光源装置を使用する際には、後述のようにその非回転対称性を補正している。

【0048】なお、上記の実施の形態では、交差する2方向で倍率の異なる非等方的光学系としてシリンドリカルレンズ・アレイ612、619が使用されているが、その代わりに入射するレーザー光を構成する多数の光束と同じ個数の非等方的なレンズエレメントよりなるマイクロレンズ・アレイ、又はそれと同じ個数の微小な回折格子の集合体である回折光学素子、即ちDOE(Diffract

ive Optical Element)を使用してもよい。

【0049】また、3段の非線形光学結晶を用いて基本波(波長 $1.544\mu\text{m}$ )→2倍波(波長 $772\text{nm}$ )→4倍波(波長 $386\text{nm}$ )→8倍波(波長 $193\text{nm}$ )の順に波長変換を行う構成や、それ以外の構成も可能である。更に、 $F_2$ レーザ(波長 $157\text{nm}$ )とほぼ同一の波長の紫外光を得るためには、図1(a)の単一波長発振レーザ11において発生する基本波の波長を $1.57\mu\text{m}$ として、波長変換部20として10倍波の発生を行う波長変換部を使用すればよい。そのためには、例えば基本波(波長 $1.57\mu\text{m}$ )→2倍波(波長 $785\text{nm}$ )→4倍波(波長 $392.5\text{nm}$ )→8倍波(波長 $196.25\text{nm}$ )→10倍波(波長 $157\text{nm}$ )の順に波長変換を行えばよい。

【0050】また、 $F_2$ レーザ(波長 $157\text{nm}$ )とほぼ同一波長の紫外光を得るためには、図1(a)の単一波長発振レーザ11において発生する基本波の波長を $1.099\mu\text{m}$ として、波長変換部20として7倍波の発生を行う波長変換部を使用する方法も考えられる。この場合には例えば基本波(波長 $1.099\mu\text{m}$ )→2倍波(波長 $549.5\text{nm}$ )→3倍波(波長 $366.3\text{nm}$ )→4倍波(波長 $274.8\text{nm}$ )→7倍波(波長 $157\text{nm}$ )の順に波長変換を行えばよい。そして、非線形光学結晶を種々に組み合わせることによって、8倍波、10倍波、又は7倍波を得ることができるため、これらの中から変換効率が高く、構成が簡素化できるものを使用することが望ましい。これらの場合にも、「Walk-off」の影響によってレーザ光を構成する各光束の断面形状が変形し、これを補正した結果、射出されるレーザ光全体としての断面形状が非回転対称になる場合には、後述のように本発明が適用できる。

【0051】上記の実施の形態の光源装置によれば、図1(a)の光ファイバー・バンドル19の出力端の直径が全チャンネルを合わせても2mm程度以下であるため、1個、又は数個の波長変換部20ですべてのチャンネルの波長変換を行うことが可能である。しかも、出力端が柔軟な光ファイバーを使用しているため、波長変換部、単一波長発振レーザ、及びスプリッタ等の構成部を分けて配置することが可能となるなど、配置の自由度が極めて高い。従って、本例の光源装置によれば、安価でコンパクト、かつ単一波長でありながら空間的コヒーレンスの低い紫外レーザ装置が提供できる。

【0052】次に、図6は、図1の光源装置を露光光源として備えた本例のステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置を示し、この図6において、露光光源101は、波長 $1.544\mu\text{m}$ (又は $1.57\mu\text{m}$ )のレーザ光を基本波として発生する基本波発生部100と、その基本波を伝播する可撓性を有する光ファイバー・バンドル19と、この光ファイバー・バンドル19から射出された基本波の例えば8倍波(又は10倍波)よりなる

波長が $193\text{nm}$ (又は $157\text{nm}$ )の真空紫外域の光を露光光ILとして発生する波長変換部20とから構成されている。その基本波発生部100は、図1(a)の単一波長発振レーザ11から光分岐増幅部4中の光増幅ユニット18-1~18-nまでの部材を表している。また、波長が $193\text{nm}$ 又は $157\text{nm}$ の光はそれぞれArFエキシマレーザ又は $F_2$ レーザの代わりに使用できるために都合が良い。更に、本例では光ファイバー・バンドル19の先端部は複数本の長く可撓性のある光ファイバー・バンドル136、138に分かれ、光ファイバー・バンドル136、138の射出面にそれぞれ波長変換部20と同じ機能を有する小型の波長変換部137、139が配置され、波長変換部137、139からも露光光ILと同じ波長の光が射出できるように構成されている。

【0053】露光光源101から射出される露光光ILの発光タイミング、発光周波数、及びパルスエネルギーは露光量制御系109によって制御されており、露光量制御系109の動作は装置全体の動作を統轄制御する主制御系105によって制御されている。露光光源101から射出される波長 $193\text{nm}$ (又は $157\text{nm}$ )のパルス紫外光よりなる露光光ILは、光路折り曲げ用のミラー102で反射された後、第1レンズ103A及び不図示の波長板を経て円偏光状態で分岐光学系としての偏光ビームスプリッタ106Aに入射して、透過光(P偏光)である第1ビームと反射光(S偏光)である第2ビームとに分けられる。第1ビームはそのまま合成光学系としての偏光ビームスプリッタ106Bに向かい、第2ビームはミラー107Aで反射されて回転光学系108に入射して、光軸を中心として $90^\circ$ 回転した状態でミラー107Bによって反射されて偏光ビームスプリッタ106Bに入射する。ここで同軸に合成された第1ビーム及び第2ビームは再び不図示の波長板を経て円偏光状態の露光光ILとなって、第2レンズ103B及び光路折り曲げ用のミラー9を介してオプティカル・インテグレート(又はホモジナイザー)としてのフライアイレンズ110に入射する。なお、オプティカル・インテグレート(ホモジナイザー)としてはフライアイレンズの他にロッドインテグレート等も使用できる。光束整形部その回転光学系108としては、例えばミラーや台形プリズムを組み合わせた周知のビームローテータ等を使用することができる。レンズ103Aとレンズ103Bとで挟まれた光学系が、本発明の照明光の非回転対称性を補正するための光束整形部に対応している。

【0054】この際に、波長変換部20から射出される露光光ILは、図3~図5を参照して説明したように、波長変換部20中の「Walk-off」を補正するために全体としての断面形状が図7(a)に示すように長円形となっている。そのため、そのままレンズ103A、103Bを介してフライアイレンズ110に導くと、図7

(b) に示すように、フライアイレンズ110の射出面に形成される光源像Fの分布も長円形となってしまう、特にコヒーレンスファクタ( $\sigma$ 値)を大きくした照明を行おうとすると、直交する2方向によって光量の差が生じて、最終的に転写される回路パターン線の幅に方向による差が生じる。

【0055】なお、これを避けるために単に露光光ILを拡大すると、長手方向の光束が無駄になって全体としての照度が低下する。また、既に説明したように、シリンドリカルレンズを用いて単に露光光ILを短軸方向に拡大すると、露光光ILを構成する多数の細い光束の断面形状がスリット状になってしまう、露光光としては望ましくない。

【0056】そこで、図8(a)に示すように、本例では回転光学系108を用いて回転した露光光ILRと、回転していない露光光(露光光ILとする)とを合成して得た露光光をフライアイレンズ110に供給しているため、図8(b)に示すように、フライアイレンズ110の射出面に形成される光源像Fは、ほぼその射出面の全面に分布する。従って、 $\sigma$ 値を大きくした場合でも、露光光ILの利用効率を低下させることなく、転写像の方向による線幅の差を無くすることができる。

【0057】なお、第1光束に対して $90^\circ$ 回転した第2光束を合成する以外に、露光光源101から射出される露光光ILをN分割し(Nは3以上の整数)、N分割された光束間にそれぞれ $180^\circ/N$ の回転角を与え、回転後のN個の光束を合成してフライアイレンズ110に供給するようにしてもよい。例えばN=3とすると、露光光源101からの露光光ILが3分割され、3分割後の露光光が順次 $0^\circ$ 、 $60^\circ$ 、及び $120^\circ$ 回転した状態で合成される。これによって、フライアイレンズ110に入射する段階での露光光ILの回転対称性を高めることができる。

【0058】次に、フライアイレンズ110の射出面には、照明系の開口絞り板111が回転自在に配置され、開口絞り板111の回転軸の周りには、通常照明用の円形の開口絞りA、複数の偏心した小開口よりなる変形照明用の開口絞りB、輪帯照明用の開口絞りC、及び小さい円形開口よりなる小さいコヒーレンスファクタ( $\sigma$ 値)用の開口絞りDが形成されている。そして、主制御系105の制御のもとで、開口絞り板111を駆動モータEで回転することによって、フライアイレンズ110の射出面に選択された照明条件に応じた照明系開口絞りを配置できるように構成されている。

【0059】フライアイレンズ110の射出面の開口絞りを通過した露光光ILの一部は、ビームスプリッタ113にて反射された後、集光レンズ114を介して光電検出器よりなるインテグレートセンサ115に入射する。インテグレートセンサ115の検出信号は露光量制御系109に供給され、露光量制御系109中でピーク

ホールド回路及びアナログ/デジタル(A/D)変換器を介してデジタルデータに変換される。本例では、予めインテグレートセンサ115の検出信号のデジタルデータから被露光基板としてのウエハ上での露光光の単位面積当たりのパルスエネルギーを算出するための係数(相関係数) $\alpha$ を求めておき、この係数 $\alpha$ を露光量制御系109内に記憶しておく。そして、露光時にはインテグレートセンサ115の検出信号に係数 $\alpha$ を乗算することで、ウエハ上でのパルスエネルギーを間接的にモニタする。

【0060】ビームスプリッタ113を透過した露光光ILは、第1リレーレンズ116Aを経て順次固定視野絞り(レチクルブラインド)117、及び可動視野絞り118を通過する。固定視野絞り117は、レチクルR上の矩形の照明領域の形状を規定する視野絞りであり、可動視野絞り118は、走査露光の開始時及び終了時に不要な部分への露光が行われないように照明領域を閉じるために使用される。可動視野絞り118は、レチクルRのパターン面との共役面上に配置され、固定視野絞り117はその共役面に対して所定間隔だけデフォーカスした位置に配置されている。

【0061】可動視野絞り118を通過した露光光ILは、第2リレーレンズ116B、光路折り曲げ用のミラー119、及びコンデンサレンズ120を経て、レチクルRのパターン面(下面)に設けられたパターン領域131内の細長い矩形の照明領域IRを照明する。露光光ILのもとで、レチクルRの照明領域IR内のパターンは、両側(又はウエハ側に片側)テレセントリックな投影光学系PLを介して、所定の投影倍率MRW(本例ではMRWは $1/4$ 、 $1/5$ 、 $1/6$ 等)でフォトリソが塗布されたウエハW上の矩形の露光領域IWに縮小投影される。ウエハ(wafer)Wは例えば半導体(シリコン等)又はSOI(silicon on insulator)等の円板状の基板である。以下、投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面内で走査露光時のレチクルR及びウエハWの走査方向に沿ってY軸を取り、走査方向SDに垂直な非走査方向に沿ってX軸を取って説明する。この場合、照明領域IR及び露光領域IWは、それぞれ非走査方向(X方向)に細長いスリット状の領域である。

【0062】また、レチクルRはレチクルステージ122上に吸着保持され、レチクルステージ122はレチクルベース123上にリニアモータによってY方向に連続移動できるように載置されている。更に、レチクルステージ122には、レチクルRをX方向、Y方向、回転方向に微動する機構も組み込まれている。不図示のレーザ干渉計によってレチクルステージ122の位置及び回転角が計測され、この計測値及び主制御系105からの制御情報に基づいて、レチクルステージ122の動作が制御される。

【0063】一方、ウエハWはウエハホルダ124上に吸着保持され、ウエハホルダ124はウエハWのフォーカス位置（Z方向の位置）及び傾斜角を制御するZチルトステージ125上に固定され、Zチルトステージ125はXYステージ126上に固定され、XYステージ126は例えばリニアモータ方式によって、ウエハベース127上でZチルトステージ125（ウエハW）をY方向に連続移動させると共に、X方向及びY方向にステップ移動させる。Zチルトステージ125、XYステージ126、及びウエハベース127よりウエハステージ128が構成されている。不図示のレーザ干渉計によってZチルトステージ125の位置及び回転角が計測され、この計測値及び主制御系105からの制御情報に基づいて、ウエハステージ128の動作が制御される。

【0064】走査露光時には、照明領域IRに露光光ILを照射して、レチクルステージ122を介してレチクルRを照明領域IRに対して+Y方向（又は-Y方向）に速度VRで走査すると同期して、XYステージ126を介してウエハWを露光領域IWに対して-Y方向（又は+Y方向）に速度MRW・VR（MRWはレチクルRからウエハWへの投影倍率）で走査することによって、レチクルRのパターン領域131内のパターン像がウエハW上の1つのショット領域142に逐次転写される。レチクルRとウエハWとの走査方向が逆であるのは、投影光学系PLが反転投影を行うからであり、投影光学系PLが正立像を投影する場合には、レチクルRとウエハWとの走査方向は同一（+Y方向又は-Y方向）となる。その後、XYステージ126をステップングさせてウエハW上の次のショット領域を走査開始位置に移動した後、同期走査を行うという動作がステップ・アンド・スキャン方式で繰り返されて、ウエハW上の各ショット領域への露光が行われる。その後にウエハW上のフォトレジストの現像、及びエッチングやイオン注入等のパターン形成を行うことによって、当該レイヤの回路パターンが形成される。

【0065】このような露光を行うに際しては予めレチクルRとウエハWとのアライメントを行っておく必要がある。そのため、レチクルRにはアライメントマークRMA及びRMBが形成され、アライメントマークRMA及びRMBの上方にミラー135等を介して撮像方式で、TTR（スルー・ザ・レチクル）方式のアライメント顕微鏡133及び134が配置され、アライメント顕微鏡133の露光光ILと同じ波長の照明光は、光ファイバー・バンドル136の射出部に配置された波長交換部137から供給され、その照明光の一部がアライメント顕微鏡134にも供給されている。アライメント顕微鏡133、134の撮像信号は主制御系105に供給されている。

【0066】また、投影光学系PLの側面に例えば可視域の白色光を用いて撮像方式でアライメントマークの位

置を検出するオフ・アクシス方式のアライメントセンサ136が固定され、このアライメントセンサ136の撮像信号も主制御系105に供給されている。そして、試料台としてのZチルトステージ125上にはレチクルR側のマークに対応した基準マーク143A、143B、及びアライメントセンサ136用の基準マーク144が形成された基準マーク部材130が固定されている。この基準マーク部材130上の基準マーク143A～143Cをアライメント顕微鏡133、134及びアライメントセンサ136で観察することによって、アライメントセンサ136のベースライン量（露光中心と検出中心との間隔）が求められ、このベースライン量を用いてウエハW上の各ショット領域のアライメントが高精度に行われる。

【0067】また、Zチルトステージ125上にスリット状の開口140及びほぼ正方形の開口141が形成された基板129が固定され、その開口140の底面側に光ファイバー・バンドル138及び波長交換部139から射出される露光光と同じ波長域の照明光が導かれている。開口140の底部には反射光を受光する第1の光電検出器が配置され、開口141の底面側には広い受光面積の第2の光電検出器が配置され、これらの光電検出器の検出信号も主制御系105に供給されている。これらの検出信号は種々の結像特性の計測に使用される。

【0068】このような露光に際して、ウエハW上に塗布されたフォトレジストには適正露光量が定められており、フォトレジストに対する積算露光量の誤差が所定の許容範囲を超えると、その後に形成される回路パターンの線幅が許容範囲を超えて増減し、最終的に製造される半導体デバイスの歩留りが低下する。そこで、本例の投影露光装置においては、ウエハW上の各ショット領域の全面で積算露光量の誤差がその許容範囲内に収まるようにインテグレータセンサ115の検出信号を用いて露光量制御が行われる。

【0069】なお、上記の実施の形態では、1段のオブティカル・インテグレータ（フライアイレンズ又はロッドインテグレータ）が使用されているが、オブティカル・インテグレータを2段配置して、照度分布を更に均一化させる場合にも本発明を適用することができる。但し、本例のようにオブティカル・インテグレータが1段である場合には、オブティカル・インテグレータへの入射段階でできるだけ照度分布を均一化しておくことが望ましいため、本発明は特に有効である。

【0070】なお、本発明は、ステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型の投影露光装置のみならず、一括露光型（ステッパー等）の投影露光装置やプロキシミティ方式の露光装置等にも適用できることは明きらかである。なお、本発明は上述の実施の形態に限定されることなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

## 【0071】

【発明の効果】本発明によれば、照明光の非回転対称性を補正するための光束整形部を設けているため、光源からの照明光の断面内での照度分布が例えば長円形であっても、その回転対称性を高めることができる。従って、本発明を露光光源の照明光学系に用いた場合には、高い照度が得られると共に、投影像の方向による線幅の差が小さくなり、回路パターン転写の忠実度が向上し、高性能のデバイスを高いスループットで製造できる。

【0072】また、光源装置が光ファイバー増幅器を用いることによって、小型化で、かつメンテナンスの容易な照明光学装置を提供できる。そして、レーザ光発生部から発生するレーザ光を複数に分岐する光分岐手段を更に備え、光増幅部をその複数に分岐されたレーザ光のそれぞれに独立に設けると共に、波長変換部は、その複数の光増幅部から出力されたレーザ光の束をまとめて波長変換することによって、空間的コヒーレンスを低減できると共に、全体としての発振スペクトル線幅を簡単な構成で狭くできる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態の一例の光源装置を示す図である。

【図2】 図1中の光増幅ユニット18-1～18-nの構成例を示す図である。

【図3】 図1中の波長変換部20の構成例を示す図である。

【図4】 波長変換部で生じる「Walk-off」の影響を補

正しない場合の2つの光束の重なり状態を示す図である。

【図5】 本発明の実施の形態において、波長変換部で生じる「Walk-off」の影響を補正する場合の2つの光束の重なり状態を示す図である。

【図6】 本発明の実施の形態の投影露光装置を示す斜視図である。

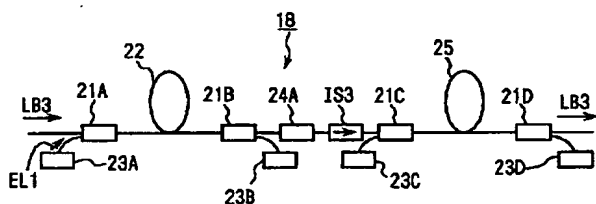
【図7】 (a)は断面が長円形の露光光を示す図、(b)はその露光光によってフライアイレンズの射出面に形成される光源像を示す図である。

【図8】 (a)は第1ビームに対して90°回転した第2ビームを合成して得られる露光光を示す図、(b)はその露光光によってフライアイレンズの射出面に形成される光源像を示す図である。

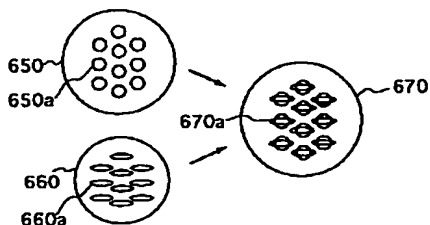
## 【符号の説明】

11…単一波長発振レーザ、12…光変調素子、13…光ファイバー増幅器、14…スプリッタ、15-1～15-m、17-1～17-n…光ファイバー（遅延素子）、16-1～16-m…スプリッタ、18-1～18-n…光増幅ユニット、19…光ファイバー・バンドル、20…波長変換部、22、25…光ファイバー増幅器、101…露光光源、106A、106B…偏光ビームスプリッタ、108…回転光学系、110…フライアイレンズ、R…レチクル、PL…投影光学系、W…ウエハ、136、138…光ファイバー・バンドル、137、13…波長変換部

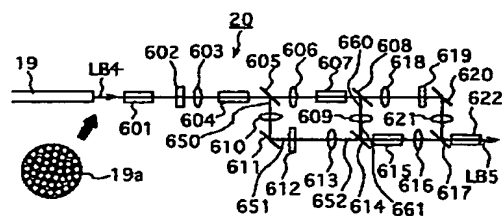
【図2】



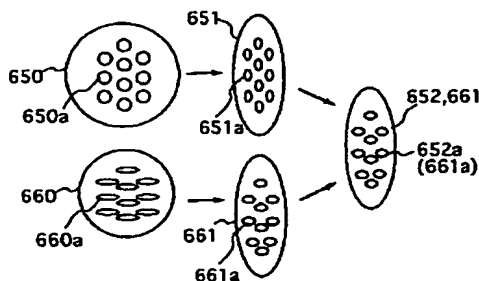
【図4】



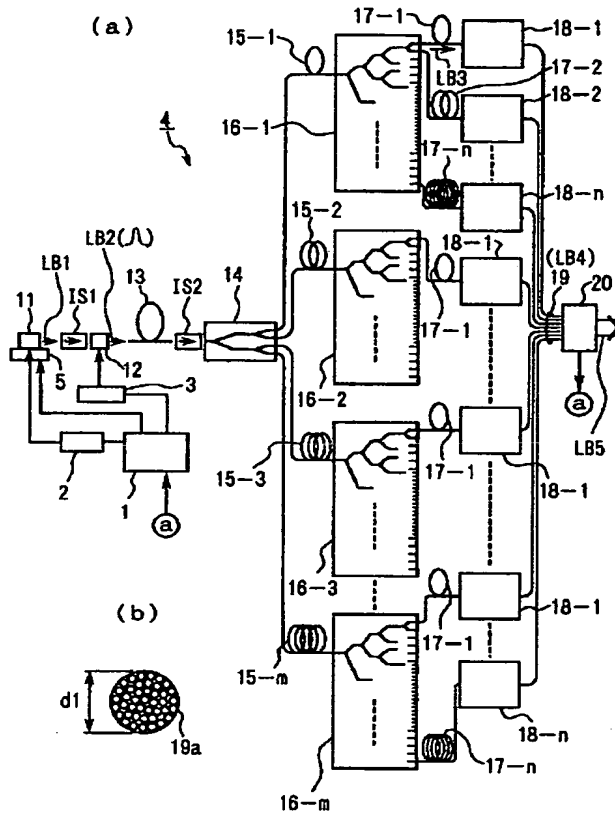
【図3】



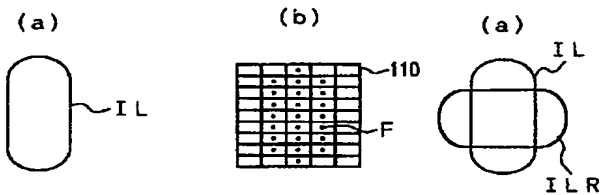
【図5】



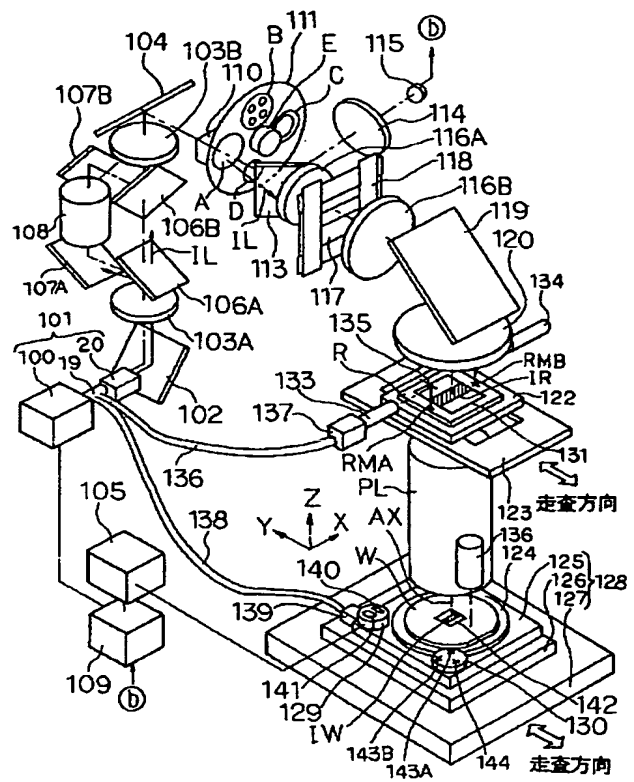
【図1】



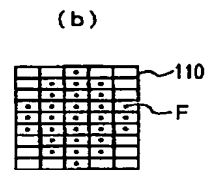
【図7】



【図6】



【図8】



## 【手続補正書】

【提出日】平成11年9月16日（1999. 9. 16）

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0053

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0053】露光光源101から射出される露光光ILの発光タイミング、発光周波数、及びパルスエネルギーは露光量制御系109によって制御されており、露光量制御系109の動作は装置全体の動作を統括制御する主

制御系105によって制御されている。露光光源101から射出される波長193nm（又は157nm）のパルス紫外光よりなる露光光ILは、光路折り曲げ用のミラー102で反射された後、第1レンズ103A及び不図示の波長板を経て円偏光状態で分岐光学系としての偏光ビームスプリッタ106Aに入射して、透過光（P偏光）である第1ビームと反射光（S偏光）である第2ビームとに分けられる。第1ビームはそのまま合成光学系としての偏光ビームスプリッタ106Bに向かい、第2ビームはミラー107Aで反射されて回転光学系108に入射して、光軸を中心として90°回転した状態でミ

ラー107Bによって反射されて偏光ビームスプリッター106Bに入射する。ここで同軸に合成された第1ビーム及び第2ビームは再び不図示の波長板を経て円偏光状態の露光光ILとなって、第2レンズ103B及び光路折り曲げ用のミラー9を介してオプティカル・インテグレータ（又はホモジナイザー）としてのフライアイレンズ110に入射する。なお、オプティカル・インテグレ

ータ（ホモジナイザー）としてはフライアイレンズの他にロッドインテグレータ等も使用できる。その回転光学系108としては、例えばミラーや台形プリズムを組み合わせた周知のビームローテータ等を使用することができる。レンズ103Aとレンズ103Bとで挟まれた光学系が、本発明の照明光の非回転対称性を補正するための光束整形部に対応している。